FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2004. március 26-27.

SZUPRAVEZETŐ MINTÁK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS EZEN ANYAGOK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

Kósa János

Abstract

Three teachers at the Faculty of Mechanical Engineering and Automation of Kecskemét College have produced samples of high temperature superconductors. The composition of their matériái is $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. The purpose of research is to examine the manufacturing parameters and electric applications of superconductors.

Superconductors have special qualities. They can be charectised by zero resistance, ideál diamagnetism and fixing of flux. Nowadays engineers use superconductors in industrial practice.

Összefoglaló

A Kecskeméti Főiskola Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Karának 3 tanára magas hőmérsékletű szupravezető mintákat készített. Az anyag összetétele $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Kutatás célja a szupravezetők gyártási paramétereinek és villamos alkalmazási lehetőségeinek, vizsgálata.

A szupravezető anyagok speciális elektromos és mágneses tulajdonságokkal rendelkeznek, de csak abban az esetben, ha bizonyos feltételek teljesülnek. Napjainkban történő ipari jellegű alkalmazáskor a következő fizikai tényeket hasznosítják: ellenállásmentes vezetés (egyenáramok esetén), erős diamágneses tulajdonság, valamint a fluxusrögzítés ténye.

Bevezetés

A Nemzetközi Szupravezetőipar 7. Csúcstalálkozóján 1998 - ban fogalmazódott meg a következő kijelentés:

„Superconductivity coming to market. - A szupravezetés közeledik a piachoz.”

A szupravezetők alkalmazásának kutatása eljutott arra a szintre, hogy iparilag gazdaságosan kivitelezhető berendezéseket gyártsanak és üzemeltessenek.

Felismerve a lehetőségeket, még intenzívebb kutatómunkákat végeznek.

Az alkalmazási lehetőségek kutatásához az Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék, valamint a Mechanikai Technológiai Tanszék közös munkájával sikerült szupravezető mintákat előállítani. Az anyagjellemző fázisösszetétele: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

A Főiskolán lebegtető hatásával lett kimutatva a szupravezető jelenléte. A szilárd fázissal előállított minták közül az egyik a tömegének 1,5-szeresét is képes volt lebegtetni. Az elkészített 6 darab pasztilla különböző nyomásokon készült el egy speciálisan az erre a célra tervezett lebegő matricás sajtoló szerszámmal. A kritikus hőmérséklet mérése Budapesten a BME SuperTech Laboratóriumában történt induktivitás méréssel.

A tervezést és a gyártást végezte:

Kosa János főisk. adj. doktorandusz Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék.

Dr. Végvári Ferenc főisk. tanár Mechanikai Technológiai Tanszék

Dr. Bernáth Mihály főisk. adj. Mechanikai Technológiai Tanszék

1. Rövid történeti áttekintés

A szupravezető kutatás **1911-ig** nyúlik vissza. **Kamerlingh Onnes** holland fizikus vette észre, hogy a Hg ellenállása 4,2K hőmérsékleten ugrásszerűen egy nem mérhető értékre csökken. Ekkor még csak ezt az egy tulajdonságát ismerték fel. 1933-ban Meissner és Ochsenfeld új ismerettel gazdagította a fizikát, ugyanis igazolták a mágneses erővonalak kiszorulását a szupravezetőből. Ettől a pillanattól kezdve már két lehetőség kínálkozott az alkalmazásokra. 1986 szintén fordulóponthoz vezetett, hiszen az eddig legmagasabb T_c (kritikus hőmérséklet) maximuma kb. 20 K volt. Ezek az AHS (alacsony hőmérsékletű) szupravezetők.

1986-ban George Bednorz és Alex Müller előállították először az első kerámia alapú szupravezetőt, melynek a T_c hőmérséklete az eddigieknél már lényegesen magasabb volt. Ezek az úgynevezett MHS anyagok (magas hőmérsékletű szupravezetők). Ez nagy áttörést jelentett, mivel megnyílt a lehetőség az intenzívebb szupravezető kutatásoknak. 1986-ban már a 4. Nobel-díjat ítélték oda e szakmai területen.

Jelenleg a kutatások két irányban folynak. Elsősorban magasabb T_c hőmérsékletű, nagyobb kritikus mágneses térerővel és nagyobb kritikus árammal rendelkező szupravezetők előállítása a cél, másodszorban pedig új gépek, berendezések, energiatárolók megvalósítása, melyek a jelenlegi alkalmazásoknál gazdaságosabban üzemeltethetők.

2. Hazai kutatási eredmények

Az erőáramú szupravezető alkalmazás magyarországi központja „**SuperTech**”, mely a MEE elnökségi bizottságaként, konzorciumi keretben működik. A „SuperTech” hazai tagintézményei a BME Villamos Energetika Tanszéken működő kutatócsoport, a Metalltech Kft., valamint az ELTE TTK

Általános Fizika Tanszéken működő kutatócsoport és ehhez még csatlakoznak hazai és külföldi partnerintézmények.

Együttműködés keretében **Dr. Vajda István** egyetemi docens MTA doktora főiskolánk meghívott oktatója heti két órában tartja a „Szupravezetők alkalmazása” című fakultatív tantárgyat, melyen hallgatóink szép számmal vesznek részt. Diákjaink lehetőséget kapnak Budapesten bemutató mérés keretében a szupravezető alkalmazások megtekintésére.

A hazai „SuperTech” fejlesztésének eredményeképpen a következő MHS modellek valósultak meg:

- lebegtetett csapágy villamos forgógépekhez
- lebegtetett jármű
- mágneses tengelykapcsoló
- zárlati áramkorlátozó
- lendkerék lebegtetéssel

Ki kell emelni a 12 kVA teljesítményű 0,4 kV feszültségű háromfázisú szinkron gépcsoport védelmére kifejlesztett **MHS ZÁK** (zárlati áramkorlátozó) modellt. A lebegtetett járművet és az előbb említett MHS ZÁK modellt hallgatóink itt a főiskolánkon egy előadássorozat keretében működésközben meg is tekinthették.

3. Néhány külföldi alkalmazás:

SMES

Ipari méreteket említve érdemes megjegyezni a Graz mellett létesített 3MJ-os mágneses energiatárolót (SMES=Superconducting Magnetic Energy Storage).

Ezt a berendezést az American Superconductor Inc. fejlesztette és konténerben szállítva helyezték üzembe, telepítve egy gyár mellé. A gyárnak igénye volt minőségi villamos energia ellátásra. Ezeket az energiatárolókat ott célszerű alkalmazni, ahol nem engedhető meg például egy 100 ms — os feszültségcsökkenés sem.

Zárlati áramkorlátozó (MHS ZÁK)

A villamos energiarendszerek fejlődése a zárlati teljesítmények növekedésével jár együtt. Többek között mind a dinamikus, mind a termikus igénybevételek növekednek, valamint a zárlati áram meghaladhatja a megszakítók névleges teljesítményét. A zárlati áramok növekedése megköveteli a berendezések és készülékek nagyobb kivitelezését.

A világon már léteznek 1,2 MVA névleges teljesítményű zárlati áramkorlátozók. Például a General Atomics 12,5 kV-os 1200 A-es névleges értékű szupravezető zárlati áramkorlátozót helyezett üzembe vizsgálat céljából a norwalki Southern California Edison cég alállomásán.

Japánban a Toshiba és a TEPCO cég készít rezisztív ZÁK-ot.

Lendkerekes szupravezető energiatárolók

Japánban megvalósítottak egy közép méretű lendkerekes energiatárolót, amely 10 kWh-t képes tárolni, miközben 334 kg-os forgórésze 17200 -at forog percenként.

USA-ban a Boeing cég már korábban elkészített egy 2 kWh-s szupravezetés csapágyazású lendkerekes energiatárolót. Teljesítménye 3 kW volt.

Szupravezetős szinkrongépek

Említésre méltó, hogy Japánban 1999-ben elkészült egy 70 MW-os generátor, melynek tekercseléséhez NbTi huzalt használtak.

Szupravezetős egyenáramú gépek

Jelenleg az egyenáramú gépek területén jelentős kutatást csak az Egyesült Államok Haditengerésze folytat.

A haditechnikai alkalmazás azért célszerű, mert közvetlen hajtás valósítható meg, tehát nincs áttétel, csendesen járnak, különösen akkor, ha a csapágyazás is szupravezetős.

4. Tervek, tervezés a GAMF Karon

A különböző geometriával és különböző érintkezési megoldásokkal legyártandó minták lehetőségét kínálnak majd az alkalmazáshoz szükséges villamos és mágneses mérések elvégzésére.

Természetesen a gyártási kísérletsorozatot oly módon terveztük, hogy lehetőség nyíljon a gyártási és technológiai folyamatok vizsgálatára is, mellyel komplexebb kutatómunkát végezhetünk.

Kiindulási anyagnak a következőket szereztük be:

Y ₂ O ₃	50g	99,99%	tisztaságú
Ba(OH) ₂	500g	98%	tisztaságú
CuO	100g	99%	tisztaságú

Ez a mennyiség kb. 28 db 10 grammos szupravezető mintadarabdarab elkészítésére elegendő.

Reakcióegyenlet (rendezve):

$Y_2O_3 + 4 Ba(OH)_2 \cdot 8 H_2O + 6 CuO = 2 YBa_2Cu_3O_y + \text{valamennyi } H_2O$ de ezt itt nem kell figyelembe venni, mert elpárolog.

$225,809g Y_2O_3 + 4 \cdot 315,48g Ba(OH)_2 + 6 \cdot 79,5454g CuO = 2 \cdot 666,1997g YBa_2Cu_3O_y$ (7 oxigén atommal számolva.)

A felhasználható kiindulási alapanyag mennyisége adott volt. Ezt kellett optimálisan felhasználnunk.

Például egy 10 grammos minta elkészítéséhez a következő anyagmennyiségek szükségesek:

$$X = (10/1332,3993) \cdot 225,809 = 1,6947 \text{ g } Y_2O_3 \text{ g}$$

$$Y = (10/1332,3993) \cdot 1261,92 = 9,4710 \text{ g } Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O \text{ g}$$

$$Z = (10/1332,3993) \cdot 477,2724 = 3,5820 \text{ g kell CuO}$$

A gyártás folyamán két szempontot érvényesítettünk. Az egyik az volt, hogy a bevált klasszikus út keretén belül a megszokott eljárásokkal biztosan állítsunk elő szupravezetőt, a másik pedig az, hogy a technológián változtatva megpróbáljunk szintén szupravezetőt előállítani. Természetesen az eredményekből a kiértékelés nem maradhat el.

Vizsgálataink még rá fognak irányulni az érintkezési pontok vizsgálatára is, hiszen a porkohászati úton előállított mintákhoz csak speciális módon lehet a jó villamos érintkezést biztosítani. Ezekkel a mintákkal villamos és mágneses méréseket fogunk végezni.

A porkohászati szupravezető sajtolására egy lebegőmatricás sajtolószerszámot terveztünk. A sajtolásnál fellépő nagy nyomásoknak való ellenállást a szerszámelemek pontos anyagminőség meghatározásával és szükséges hőkezelésével biztosítottuk.

A szupravezető minták hőkezelésére egy speciális kemencét terveztünk, mellyel a kutatási terveinket hosszabb távon tudjuk biztosítani, hiszen több paramétert is szükséges változtatni a gyártás folyamán. Első lépésként hat darab mintát készítettünk különböző nyomással sajtolva, majd 12 órás hőkezelés után egy meghatározott sebességgel hűtve mintáink a folyékony nitrogén forráspontján (kb. -196°C) szupravezető állapotba kerültek. Ez lebegtetéssel volt kimutatható, ugyanis egy szupravezető tömb fölé helyezett mágnes lebeg a szupravezető felett.

Ebben az állapotban két jelenség érvényesül, az egyik a Meissner- Ochsenfeld effektus amikor az anyag tökéletes diamágnessé válik, valamint a pinning centrumokon keresztül a fluxusrögzítés hatása. A fluxusrögzítés teszi lehetővé a mechanikailag stabil állapotot létrejöttét. Ezt azért érdemes megemlíteni, hiszen két mágnes taszító ereje tud érvényesülni, de egymásfölé helyezve őket, nem tudnak stabil helyzetet felvenni. A lebegő vonatok modelljeinél a fluxus rögzítés ténye nem engedi leesni a kanyarban a járművet a sínről. A fentiekben említett kevert állapot az úgynevezett magas hőmérsékletű szupravezetőknél érvényesül. Ezeket röviden MHS anyagoknak nevezzük. Összetételüket tekintve oxid alapú kerámiák és sok változat létezik.

Meg kell említenünk, hogy a szupravezetők ipari felhasználás szemszögéből tekintve a lebegtetésen kívül más jelentős tulajdonsággal is rendelkeznek. Ez nem más, mint az ohmos ellenállás „eltűnése” egyenáramon, tehát veszteség nélkül lehet szállítani az energiát.

A szupravezetők felhasználását, alkalmazását tekintve a kutatások mind a két irányt erősen megcélözzák. Gondoljunk a lebegő vonatokra, az energiatárolás lehetőségére (SMES), gondoljunk a zárlati áramkorlátozókra. Meg kell említenünk, hogy az utóbbi témával nagyon intenzíven foglalkoznak a BME SuperTech Laboratóriumában Dr. Vajda István egyetemi docens MTA doktora irányításával.

A lehetőségek korlátlanok, cél a minél magasabb hőmérsékletű szupravezető előállítása, illetve ezen anyagok alkalmazása. Természetesen ameddig nem léteznek szobahőmérsékletű szupravezetők, addig bizonyára cél lesz az olcsóbb „hideg” előállítása is, bár ezt más igények is alátámasztják.

A Kecskeméti Főiskola GAMF Karán gyártott Y-Ba-Cu (123)-ra tervezett szupravezető (2003. március12.) kritikus hőmérsékletmérésének (5. minta) eredményét a következő oldalon lévő 1. ábra mutatja.

5. minta
Mérés helye: BMESzuperTech Laboratórium
(Budapest) 2003.április 16.

1. ábra

Az ábrából az is látható, hogy 3 fázis szupravezető fázis van jelen a szupravezető anyagban.

Ezek a kapott értékek más és más anyagösszetétel és gyártási paraméter esetén különbözőek. Célunk az ezek közötti összefüggések vizsgálata, valamint az alkalmazási lehetőségek ipari célú bővítése.

IRODALOM

- [1] V. Sokolovsky, V. Meerovich, Semperg S., Dr. Vajda L: Magashőmérsékletű szupravezetős zárlati áramkorlátozók. Elektrotechnika 2000. 93. évfolyam 10. szám 364-367. oldal
- [2] Dr. Vajda István, Szalay András, Porjesz Tamás: Szupravezetők az erősáramú iparban: Helyzet- és jövőkép Elektrotechnika 2000. 93. évfolyam 7-8. szám 280-281. oldal
- [3] Dr. Vajda István, Szalay András, Porjesz Tamás: Szupravezetők az erősáramú iparban: Helyzet és jövőkép. Elektrotechnika 2000.93.évf. 7-8 szám
- [4] Dr. Rupert Schöttler, Dr. Gero Papst, Dr. Vajda István: Az ipari energia minőségének javítása szupravezetős energiatárolókkal. Elektrotechnika 2000. 93. évf. 9. szám
- [5] Vladimír Sokoiovsky, Victor Meerovich, Semperger Sándor, Dr. Vajda István: Magashőmérsékletű szupravezetős zárlati áramkorlátozók. Elektrotechnika 2000. 93. évf. 10. szám
- [6] Tobias Habisreuther, Lev Kovalev, Kohári Zsolt, Dr. Vajda István: Szupravezetős Villamos Gépek. Elektrotechnika 2001. 94. évf. 2. szám
- [7] Kohári Zsolt, Dr. Vajda István: Szupravezetők a villamos gépekben. Budapesti Műszaki Egyetem, Villamos Energetika Tanszék, SuperTech Laboratórium